



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 41 096 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 B 7/30
G 01 D 5/20
G 01 L 3/10
B 62 D 15/02
// G 01 B 101:10

⑲ Aktenzeichen: 100 41 096.0
⑳ Anmeldetag: 22. 8. 2000
㉓ Offenlegungstag: 7. 3. 2002

DE 100 41 096 A 1

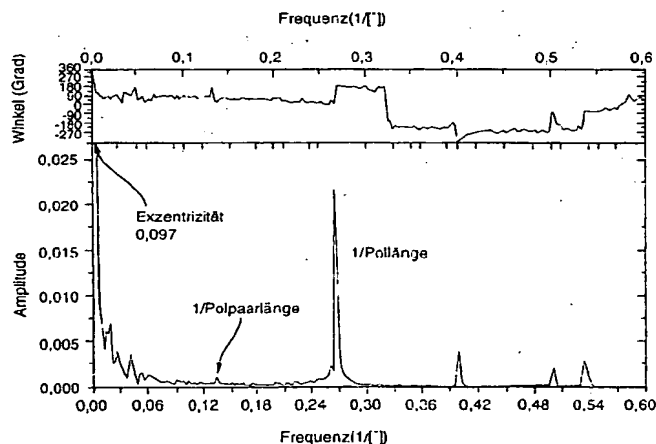
⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Heisenberg, David, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Haas,
Gunther, Dr., 71229 Leonberg, DE; Siegle, Henrik,
Dr., 70499 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Korrektur von Winkelmessungen mittels wenigstens zweier Codespuren

⑤⑦ Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur rechnerischen Korrektur von Winkelmessungen mittels wenigstens zweier Codespuren (6a, 6b) vorgeschlagen, mit dem insbesondere Montage- und Herstellungsfehler nachträglich korrigierbar sind. Solche Fehler führen zu Exzentrizitäten, Polteilungsfehlern und Fehlanpassungen und können nachträglich beseitigt werden. Ein wesentlicher Aspekt ist, bei einer anfänglichen Kalibrierung die Fehler der Eingangsgrößen oder daraus abgeleiteter Signale mit Hilfe eines Referenzwinkelgebers zu ermitteln und zu speichern. Die Fehler ($\Delta\alpha(\phi)$, $\Delta\beta(\phi)$) werden mit einer Fourier-Analyse gefiltert. Im Betrieb werden die gefilterten Fehler drehwinkelabhängig von den gemessenen Winkelwerten abgezogen. Diese Korrektur kann iterativ wiederholt werden, so dass der Fehlerwinkel minimal wird. Eine bevorzugte Anwendung ist die Lenkwinkel- und/oder Torsionswinkelbestimmung eines Kraftfahrzeugs.



DE 100 41 096 A 1

BEST AVAILABLE COPY

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Korrektur von Winkelmessungen mittels wenigstens zweier Codespuren mit periodischen Codierungen, die auf einer gemeinsamen Welle fest angeordnet sind, nach der Gattung des Hauptanspruchs. Verfahren und Vorrichtungen zur Messung von Winkeln mit Codespuren, beispielsweise mit einem magnetischen Maßstab, sind vielfältig bekannt. So wird in der DE 198 18 799 C2 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen von Winkeln vorgeschlagen, bei dem auf einer Welle zwei magnetische Multipolräder angeordnet sind. Jedem Multipolrad ist ein feststehendes Sensorelement zugeordnet, das die Magnetpole der beiden Multipolräder decodiert und entsprechende Signale an eine Auswerteeinrichtung liefert. Die beiden Multipolräder unterscheiden sich in der Anzahl ihrer Magnetpole. Die Anzahl der Magnetpole wurde so gewählt, dass sie auf dem halben Umfang eines Ringes teilerfremd ist zu der Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang des anderen Ringes. Die Sensoreinheit weist zwei magnetoresistive Sensorelemente auf, die im gesättigten Zustand betrieben werden. Zusätzlich ist ein Hallsensor vorgesehen, der einem codierten Ring zugeordnet ist, der eine ungerade Anzahl von Polen auf dem halben Umfang des Ringes aufweist. Diese Anordnung ist relativ aufwendig und berücksichtigt nicht Fehler, die durch eine Exzentrizität der Codespuren auftreten können. Des Weiteren ist keine Korrektur von Polteilungsfehlern, Amplitudenfehlern sowie Fehlern der Sensorelemente selbst vorgesehen.

Vorteile der Erfindung

[0002] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Korrektur von Winkelmessungen mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat dem gegenüber den Vorteil, dass sowohl in der Fertigung als auch bei der Montage auftretende statische Toleranz- und Dejustagefehler nachträglich korrigiert werden können. Dies ist besonders vorteilhaft, da durch die nachgeschaltete Winkelkorrektur gewünschte Genauigkeitsvorgaben mit Sicherheit eingestellt werden können. Beispielsweise werden bei der Lenkmomentbestimmung für eine Kraftfahrzeugservolenkung Winkelbestimmungen mit größter Präzision gefordert, obgleich die auftretenden Torsionswinkel relativ klein und schwer zu messen sind.

[0003] Als besonders vorteilhaft wird angesehen, dass mit Hilfe der vorgeschlagenen Korrekturverfahren die Drehwinkel nahezu beliebig genau bestimmt werden können, so dass das Verfahren vorteilhaft für praktisch alle Anwendungen geeignet erscheint.

[0004] Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. In diesem Zusammenhang wird als vorteilhaft angesehen, zunächst eine vorläufige Winkelbestimmung mit einem bekannten Noniusverfahren durchzuführen und diesen Drehwinkel dann erfindungsgemäß zu korrigieren.

[0005] Als besonders vorteilhaft wird angesehen, dass die wenigstens zwei Codespuren als periodisch wiederkehrende magnetische oder optische Codierungen ausgebildet sind. Insbesondere mit einem magnetoresistiven bzw. lichtempfindlichen Sensorelement sind die Codierungen einfach erfassbar und als Eingangssignale zur Weiterverarbeitung an eine Auswerteeinheit übertragbar. Solche Einheiten sind

einfach und kostengünstig herstellbar und arbeiten besonders zuverlässig.

[0006] Bei Anbringung der Codespuren auf gegenüberliegenden Stirnseiten eines Coderades, nebeneinanderliegend oder am Umfang des Coderades verteilt, ergibt sich eine einfache Anordnung, die relativ leicht herstellbar ist. Eine solche Anordnung ist auch gegen Verschmutzungen unempfindlich und erreicht somit eine hohe Zuverlässigkeit.

[0007] Zur Auswertung der von den Sensorelementen gemessenen Eingangsgrößen wird als besonders vorteilhaft angesehen, dass zunächst in einem Kalibriermodus mit Hilfe eines präzisen Referenzwinkelgebers Korrekturwerte der Eingangsgrößen berechnet werden, wobei das klassische Noniusverfahren genutzt werden kann. Diese werden analysiert und entsprechend abgespeichert, so dass beim späteren Einsatz der Vorrichtung die Eingangsgrößen drehwinkelabhängig korrigiert werden können.

[0008] Besonders günstig erscheint auch, dass durch wiederholte Korrektur der Eingangsgrößen oder daraus abgeleiteter Größen der tatsächliche Fehler des Drehwinkels nahezu beliebig verringert werden kann. In der Praxis wird eine bestimmte Genauigkeitsanforderung vorgegeben, die mit Hilfe dieses Verfahrens vorteilhaft eingehalten oder sogar unterschritten werden kann.

[0009] Eine besonders günstige Lösung wird auch darin gesehen, die Fehler der drehwinkelabhängigen Eingangsgrößen oder der daraus abgeleiteten Größen mit Hilfe der Fourier-Transformation zu korrigieren. Dabei werden vorteilhaft die Fourierkomponenten, die nach ihrer Amplitude und Frequenz selektiert wurden, zusammen mit der Phase in einer oder auch zwei Tabellen abgelegt. Mit Hilfe der Tabellen lässt sich dann die Fehlerfunktion berechnen, die für die Winkelkorrektur benötigt wird.

[0010] Eine besonders günstige Anwendung ist bei der Lenkwinkelbestimmung eines Kraftfahrzeugs zu sehen. Hier kann die Lenkstange bzw. Lenkwelle mit den Coderädern und den Sensorelementen ausgerüstet sein. Insbesondere bei zusätzlicher Verwendung eines Torsionselementes, das zwischen den beiden Coderädern angeordnet ist, lässt sich ein Verdrehwinkel der beiden Coderäder zusätzlich bestimmen, so dass auch ein an der Lenkstange wirkendes Drehmoment präzise berechenbar ist.

Zeichnung

[0011] Zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0012] Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zwei Multipolrädern,

[0013] Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Multipolrad und zwei Codespuren,

[0014] Fig. 3 zeigt ein erstes Diagramm mit zwei Winkelfehlerkurven,

[0015] Fig. 4 zeigt ein erstes Flussdiagramm,

[0016] Fig. 5 zeigt ein zweites Flussdiagramm,

[0017] Fig. 6 zeigt ein weiteres Fehlerdiagramm und

[0018] Fig. 7 zeigt zwei Diagramme zur Fourieranalyse.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0019] Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel mit zwei Coderädern 1a, 1b, die auf einer gemeinsamen Welle 3 fest angeordnet sind. Jedes Coderad trägt bei einer Noniusauswertung wenigstens zwei Codespuren 6a, 6b mit gleichförmig verteilten Codierungen 2. Die Codespuren 6a, 6b sind vorzugsweise an einer Stirnseite des Coderades 1a, 1b angeordnet. Beispielsweise können 24, 25 oder andere An-

zahlen von Codepaaren 2 gewählt werden. In alternativer Ausführungsform kann die Codespur 6a, 6b bei entsprechender Gestaltung des Coderades 1a, 1b auch am Umfang angeordnet sein. Jedem Coderad 1a, 1b ist ein Sensorelement 5 so zugeordnet, dass es die alternierenden Codierungen 2 der sich drehenden Welle 3 erfasst und ein entsprechendes Eingangssignal für eine schematisch dargestellte Steuerung 10 liefert. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Codierungen 2 abwechselnd mit Nord- und Südpolen magnetisiert und die Sensorelemente 5 magnetoresistiv ausgebildet, so dass bei Drehung der Welle 3 jedes Sensorelement 5 an seinen beiden Ausgängen eine Sinus- und Kosinusfunktion als Eingangssignale für die Auswerteeinheit abgibt. Die Sensorelemente 5 sind vorzugsweise auf einer Leiterplatte 4 angeordnet, die auch die Auswerteeinheit 10 aufnimmt. Um eine möglichst kleine Bauform zu erreichen, sind Aussparungen 8 vorgesehen, in die die Coderäder 1a, 1b mehr oder weniger tief eintauchen können. Zum Schutz gegen Verschmutzung und Beschädigung wird die komplette Einheit mittels einer entsprechend stabilen und dichten Ummantelung umgeben. Eine bevorzugte Anwendung wird zur Lenkwinkelmessung in einem Kraftfahrzeug gesehen, bei dem diese Anordnung an der Lenksäule angebracht ist.

[0020] Wird in alternativer Ausführungsform zwischen den beiden Polrädern 1a, 1b ein Torsionselement mit bekannter Steifigkeit angeordnet, dann kann zusätzlich zur Messung des Drehwinkels ϕ auch ein auf die Welle 3, beispielsweise eine Lenkwelle eines Fahrzeugs, wirkendes Drehmoment aufgrund der Winkelverschiebung zwischen den beiden Multipolrädern 1a, 1b bestimmt werden.

[0021] An Stelle der magnetischen Ausführungsform ist alternativ auch vorsehbar, optische Codierungen 2 in den bekannten Ausführungsformen, beispielsweise Strichcodes, Farbmarkierungen, Einprägungen zu verwenden, die von entsprechenden optischen Sensorelementen 5 abgetastet werden. Die optischen Codespuren 6a, 6b sind beispielsweise auch direkt auf die Welle 3 aufbringbar. Die optischen Sensorelemente 5 tasten die optischen Codierungen 2 ab und liefern entsprechende Eingangssignale an die Auswerteeinheit 10, die die Korrektur des Drehwinkels analog nach dem erfindungsgemäßen Verfahren durchführt.

[0022] Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines Multipolrades 1c mit einer vereinfachten Ausführungsform, bei dem auf den beiden Stirnseiten zwei Codespuren mit den Polpaaren 6a, 6b angeordnet sind. Entsprechend sind die beiden Sensorelemente 5 auf der Ober- und Unterseite des Multipolrades 1c angeordnet und durch die Platine 4 fixiert. Mit dieser Einrichtung lässt sich lediglich ein Drehwinkel, nicht jedoch ein Drehmoment messen.

[0023] Die weitere Beschreibung und Auswertung der Signale entspricht dem Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 1.

[0024] Anhand der Fig. 3 bis 7 wird das erfindungsgemäße Auswerteverfahren für die von den Sensorelementen 5 gelieferten Winkelsignale erläutert. Bei Drehung der Welle 3 entstehen am Ausgang der beiden Sensorelemente 5 die winkelabhängigen Sinus- bzw. Kosinusspannungen, die als Eingangsgrößen der Auswerteeinheit 10 zugeführt werden. Durch Bildung der Arcustangens-Funktion aus den Sinus- und Kosinuswerten bildet die Auswerteeinheit 10 die periodischen Winkel, die sogenannten Sägezähne $\alpha(\phi)$, $\beta(\phi)$, die aus den verschiedensten Gründen fehlerbehaftet sind und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren korrigiert werden. So werden beispielsweise Polteilungsfehler, Amplitudenfehler, Fehler der Sensorelemente selbst oder solche Fehler korrigiert, die durch Exzentrizitäten der Polräder entstehen. Anschließend erfolgt die Bestimmung des Ist-Drehwinkels ϕ .

[0025] Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, dass bei der anfänglichen Einkalibrierung der Sensorelemente 5 zu jedem periodischen Winkel α , β , genannt Sägezahn, ein Fehler $\Delta\alpha$ bzw. $\Delta\beta$ jedes Polrades als Funktion des Drehwinkels ϕ aufgenommen und gespeichert wird. Dazu ist eine Kalibriereinrichtung mit einem hochpräzisen Winkelgeber erforderlich, mit der die Welle 3 in ausreichend vielen Schritten bis zu 360° gedreht und dabei schrittweise die Eingangsdaten (Ist-Winkel, gemessener Drehwinkel ϕ) aufgenommen und zu jedem Schritt die Fehler $\Delta\alpha$ bzw. $\Delta\beta$ der beiden Codespuren 6a, 6b bestimmt werden. Bezogen auf eine Umdrehung mit einem Winkel bis zu 360° für die Welle 3 ergibt sich oft eine sinusförmige Fehlerkurve, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist, da die Exzentrizität der Codespuren die Fehler dominiert. Die obere Fehlerkurve stellt die Fehlerverteilung an einem Coderad mit 48 Polen und die untere Kurve an einem Polrad mit 50 Polen dar. Die gestrichelte Kennlinie erhält man durch rechnerische Anpassung mit einer Sinusfunktion. Diese Anpassungen (Fits) stellen die Fehlerfunktionen $\Delta\alpha(\phi)$ bzw. $\Delta\beta(\phi)$ dar, die im Betrieb verwendet werden. Die drei Parameter dieser Funktionen, Amplitude, Phase und Offset werden dazu in der Auswerteeinheit abgelegt. Wie in Fig. 3 beispielhaft dargestellt ist, beträgt der maximale Fehler ca. $\pm 0,25^\circ$. Mit Hilfe dieser Kurven können nun die Größen α , β für jeden Drehwinkel ϕ korrigiert werden. Auf diese Weise lassen sich Exzentrizitätsfehler leicht korrigieren. Wie der Fig. 3 weiter entnehmbar ist, entspricht die Periode gerade dem Umfang der Coderäder 1a, 1b.

[0026] Fig. 4 zeigt zunächst ein Flussdiagramm für die Kalibrierung der Sensorelemente 5 vor der Inbetriebnahme. In Position 20 erfolgt die Einkalibrierung des Sensorelements 5. Dazu wird der Referenzwinkelgeber 19 verwendet, der sehr präzise arbeitet. Bei jedem Schritt wird nun vom gemessenen Winkel $\alpha(\phi)$, $\beta(\phi)$ der beiden Spuren eines Coderades der Referenzwinkel $\alpha_{ref}(\phi)$ abgezogen, um den Fehlerwinkel $\Delta\alpha(\phi)$ bzw. $\Delta\beta(\phi)$ zu erhalten. α und β sind dabei die periodischen Winkel (Sägezähne) der jeweiligen Codespur. Die Fehlerkurven $\Delta\alpha(\phi)$, $\Delta\beta(\phi)$ (Position 21) werden mit einer Fourier-Transformation analysiert (Position 18) und die relevanten Komponenten (Amplitude, Frequenz und Phase) in einer oder zwei Tabellen abgelegt (Position 17), so dass sie für den späteren Betrieb zur Verfügung stehen.

[0027] Im rechten Teil des Flussdiagramms der Fig. 4 wird gezeigt, wie nach der Einkalibrierung der Sensorelemente 5 die Auswertung der Eingangsgrößen bzw. die Bestimmung des Drehwinkels ϕ erfolgt. In Position 22 werden die Sensorelemente 5 aktiviert und messen in Position 23 in einem ersten Schritt die Eingangsgrößen α_1 , β_1 . Diese Eingangsgrößen α_1 , β_1 werden dann um ihren jeweiligen Fehler $\Delta\alpha(\phi)$ bzw. $\Delta\beta(\phi)$ korrigiert. Hierzu ist aber in jeder Situation die vorläufige Kenntnis des Drehwinkels ϕ notwendig, der zunächst als vorläufiger Winkel ϕ_1 ermittelt wird. Da der vorläufige Drehwinkel ϕ_1 noch relativ ungenau ist, wird zu dessen Bestimmung wegen der größeren Fehlertoleranz gemäß Position 24 das klassische Noniusverfahren angewendet. Dieses liefert den vorläufigen Drehwinkel ϕ_1 gemäß Position 25. Das modifizierte Noniusverfahren ist hierzu nicht in der Lage, wenn die Fehler der Eingangsgrößen α_1 , β_1 einen bestimmten Fehlerwert überschreiten. Mit diesem Winkel ϕ_1 werden gemäß der Tabelle (Position 17) die Fehler $\Delta\alpha(\phi_1)$ und $\Delta\beta(\phi_1)$ berechnet und von den Eingangsgrößen α_1 , β_1 abgezogen (Position 27). Der Index 1 kennzeichnet dabei die erste Approximation der Größen α , β und ϕ . Die korrigierten Winkel werden dann α_2 bzw. β_2 genannt. Dieser Schritt wird gemäß dem Rücksprung auf Position 24 so lange wiederholt, bis die Eingangsgrößen die für das modifizierte Noniusverfahren notwendige Genauig-

keit besitzen. In Position 31 wird daher eine bestimmte Anzahl an Wiederholungen vorgegeben. In vielen Fällen reicht schon eine einzige Berechnung von ϕ mit dem klassischen Noniusverfahren aus.

[0028] Nach Erreichen der Fehlergrenze wird in Position 28 nun das modifizierte Noniusverfahren angewendet, das seinerseits wieder stark fehlerreduzierend wirkt und den Drehwinkel ϕ_2 gemäß den Positionen 29, 30 ausgibt.

[0029] Ist eine weitere Verbesserung der Messgenauigkeit gewünscht, wird entsprechend der Vorgabe in Position 33 die Fehlerkorrektur nach Position 26 wiederholt, so dass die Fehler der Eingangsgrößen α_1 , β_1 nahezu beliebig minimiert werden können. Auf diese Weise werden systematische Fehler beseitigt.

[0030] Sind jedoch die Genauigkeitsanforderungen so gering, dass auf das modifizierte Noniusprinzip verzichtet werden kann, genügt alternativ auch das iterative Ausführen des klassischen Noniusverfahrens, um eine Fehlerreduktion zu erreichen. Ergänzend sei noch darauf hingewiesen, dass das klassische Noniusverfahren bzw. modifizierte Noniusverfahren beispielsweise aus der DE 195 06 938 A1 bekannt ist.

[0031] In den Fig. 5 bis 7 wird eine alternative Ausführungsform der Erfindung zur optimalen Korrektur der Fehler $\Delta\alpha(\phi)$, $\Delta\beta(\phi)$ für die Eingangsgrößen $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ vorgeschlagen. Dieses nachfolgend beschriebene Korrekturverfahren eignet sich insbesondere zur Korrektur von langwelligen Störungen aufgrund der Exzentrizität der Sensorelemente 5, der Oberwellen im Sensorsignal sowie von Polteilungsfehlern der Multipolspuren 6a, 6b. Dieses Korrekturverfahren nutzt im wesentlichen die Eigenschaften einer Fourier-Transformation aus und stellt eine Verallgemeinerung des oben beschriebenen Verfahrens dar, bei dem nur die Grundwelle des Fehlers $\Delta\alpha(\phi)$, $\Delta\beta(\phi)$ angepaßt wird.

[0032] Wie bereits dargelegt wurde, wird im Zusammenhang mit der Einkalibrierung der Sensorelemente 5 das drehwinkelabhängige Fehlersignal $\Delta\alpha(\phi)$ bzw. $\Delta\beta(\phi)$ ermittelt. Beispielsweise werden die Multipolräder 1a, 1b mit der Welle 3 in Schritten von $0,1^\circ$ – 2° über einen gesamten Drehwinkel von 360° gedreht und die Signale $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ der Sensorelemente 5 (Magnetfeldsensoren) aufgenommen. Mit dem klassischen Noniusverfahren wird dann ein absoluter Drehwinkel ϕ_1 bestimmt. Anschließend wird das Fourier-Spektrum des Fehlers für die Größen $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ berechnet.

[0033] Diese periodischen Größen $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ werden wie gesagt auch Sägezähne genannt.

[0034] Anhand eines zweiten Flussdiagramms gemäß der Fig. 5 wird nun das Korrekturverfahren des Winkelfehlers mit der iterativen Fourier-Filterung erläutert. Gemäß Position 41 werden die Sägezähne $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ von der Auswerteeinheit 10 berechnet. Mit den zwei Sägezähnen $\alpha(\phi)$ und $\beta(\phi)$ (Position 42) wird in Position 43 das klassische Noniusverfahren angewendet und daraus ein absoluter Drehwinkel ϕ_1 berechnet (Position 44). Es hat sich bei der Kalibrierung herausgestellt, dass die zu wählende Schrittweite für die Drehwinkelbestimmung von der geforderten Genauigkeit des Absolutwinkels ϕ abhängig ist. Je höher die geforderte Genauigkeit ist, desto höher ist die Frequenz in 1° derjenigen Fourier-Komponenten, die man vom Sägezahn abziehen muss. Die Maximalfrequenz des Spektrums ist die inverse Schrittweite. Erfahrungsgemäß war das letzte Band im Fourier-Spektrum mit relevanter Amplitude bei ca. $0,6^\circ$, was einer Schrittweite von $1,66^\circ$ entsprechen würde (vgl. Fig. 7). Die Subtraktion der langwelligen Fourier-Komponenten von dem Wert des Sägezahns wird in Position 45 durchgeführt und anschließend wird in Position 46 nun das modifizierte Noniusverfahren angewendet, so dass in

Position 47 der absolute Drehwinkel ϕ_2 erhalten wird.

[0035] Zur Ermittlung des absoluten Drehwinkels ϕ wird die Tabelle (Position 17) in zwei Tabellen aufgeteilt, beispielsweise eine für die niederfrequenten Fourier-Komponenten bis ca. $0,06 1^\circ$ und eine für die höherfrequenten Fourier-Komponenten $0,06 1^\circ$ bis $0,5 1^\circ$. In den Tabellen werden die Amplituden, Frequenzen und Phasen der Fourier-Komponenten abgelegt, deren Amplitude einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Grundsätzlich wird der Grenzwert in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen an den Winkelsensor festgelegt. Dieser Schritt erfolgt in Position 48. Um die Genauigkeit des Winkelfehlers weiter zu verbessern, wird iterativ gemäß Position 49 das modifizierte Noniusverfahren erneut angewendet und daraus in Position 50 ein neuer absoluter Drehwinkel ϕ berechnet. Dieses iterative Korrekturverfahren bei Winkelmessungen kann so oft angewendet werden, bis ein vorgegebener Grenzwert für die Genauigkeit erreicht ist.

[0036] Anhand eines dritten Fehlerdiagramms gemäß der Fig. 6 wird die Wirkungsweise des Korrekturverfahrens dargestellt. Wie zuvor schon erläutert, wird über den Drehwinkel ϕ der Winkelfehler $\Delta\alpha(\phi)$ bzw. $\Delta\beta(\phi)$ aufgetragen. Die Kurve 1 zeigt den Winkelfehler eines einzelnen Sägezahns $\alpha(\phi)$ bzw. $\beta(\phi)$. Die Kurve 2 zeigt den Fehlerwinkel nach der Korrektur mit dem klassischen Noniusverfahren entsprechend Position 43 (Fig. 6). Die Kurve 3 zeigt die Korrekturfunktion mit dem modifizierten Noniusverfahren und die Kurve 4 zeigt den Winkelfehler für die Sägezähne nach Abzug der Korrekturfunktion. Eine weitere Verbesserung des Winkelfehlers wird mit der Kurve 5 erreicht, bei der der Winkelfehler für den Sägezahn iterativ nach zwei Korrekturfunktionen berechnet wurde.

[0037] Fig. 7 zeigt zwei Diagramme, wobei im oberen Diagramm die Phase der Fourier-Transformation des Fehlersignals und im unteren Diagramm die entsprechenden Amplituden aufgetragen sind.

[0038] Insbesondere im unteren Diagramm ist ersichtlich, welche Ursachen die Fehler haben. So ist beispielsweise im Frequenzspektrum bei niedriger Frequenz im Bereich von $0 1^\circ$ die Amplitude besonders hoch. Dies ist ein Hinweis für einen Exzentrizitätsfehler. Bei etwa $0,25 1^\circ$ kennzeichnet die hohe Amplitude einen Pollängenfehler usw.

[0039] Mit dem Verfahren des Fourier-Spektrums lässt sich auf einfache Weise auch die Ursache des Fehlers identifizieren und es lassen sich dadurch gezielte Abhilfemaßnahmen einleiten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur von Winkelmessungen mittels wenigstens zweier Codespuren (6a, 6b) mit periodischen Codierungen (2), die auf einer gemeinsamen Welle (3) fest angeordnet sind, wobei die beiden Codespuren (6a, 6b) sich wenigstens um eine Codierung unterscheiden, und wobei bei Drehung der Welle (3) zugeordnete Sensorelemente (5) die Codierungen (2) erkennen und entsprechende analoge, periodische elektrische Eingangssignale an eine Auswerteeinheit (10) abgeben, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Codespur (6a, 6b) ein Sensorelement (5) zugeordnet wird, dass zur anfänglichen Kalibrierung mit Hilfe eines Referenzsensors bei Drehung der Welle (3) bis zu 360° die Fehler der Eingangssignale oder der abgeleiteten Größen jeder Codespur (6a, 6b) als Funktion des Drehwinkels (ϕ) bestimmt und gespeichert werden und dass beim späteren Betrieb die von den Sensorelementen (5) gemessenen Eingangssignale oder daraus abgeleitete Größen zur Bestimmung eines Ist-Drehwinkels

mit Hilfe der gespeicherten Fehler korrigiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gemessene Drehwinkel (φ) mit einem Noniusverfahren bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens zwei Codespuren (6a, 6b) als periodisch wiederkehrende magnetische oder optische Codierungen (2) ausgebildet und auf der Welle (3) oder wenigstens einem Coderad (1a, 1b) aufgebracht sind.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens zwei Codespuren (6a, 6b) an gegenüberliegenden Stirnseiten des Coderades (1c) nebeneinanderliegend oder am Umfang des Coderades (1c) angeordnet sind.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des vorläufigen Drehwinkels (φ_1) das klassische Noniusverfahren verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zum vorläufigen Drehwinkel (φ_1) die zugeordneten Fehler der Eingangsgrößen oder der daraus abgeleiteten Größen berechnet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass wiederholt für zunehmend genauere Drehwinkel (φ_i) die Eingangsgrößen oder die daraus abgeleiteten Größen korrigiert werden, bis eine vorgegebene Genauigkeitsgrenze erreicht ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fehler der drehwinkelabhängigen Eingangsgrößen oder der daraus abgeleiteten Größen mit Hilfe einer Fourier-Filterung korrigiert werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass für die niederfrequenten und höherfrequenten Fourier-Komponenten jeweils eine Tabelle erstellt wird, in denen die Amplituden, Frequenzen und die Phasen der Fourier-Komponenten abgelegt werden, deren Amplituden einen von der Genauigkeitsanforderung vorgegebenen Grenzwert überschreiten.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Verwendung zur Lenkwinkelbestimmung in einem Kraftfahrzeug.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Multipolrädern (1a, 1b) ein Torsionselement mit bekannter Torsionssteifigkeit eingesetzt ist und dass zur Drehmomentbestimmung der Verdrehwinkel zwischen den beiden Multipolrädern (1a, 1b) ermittelt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

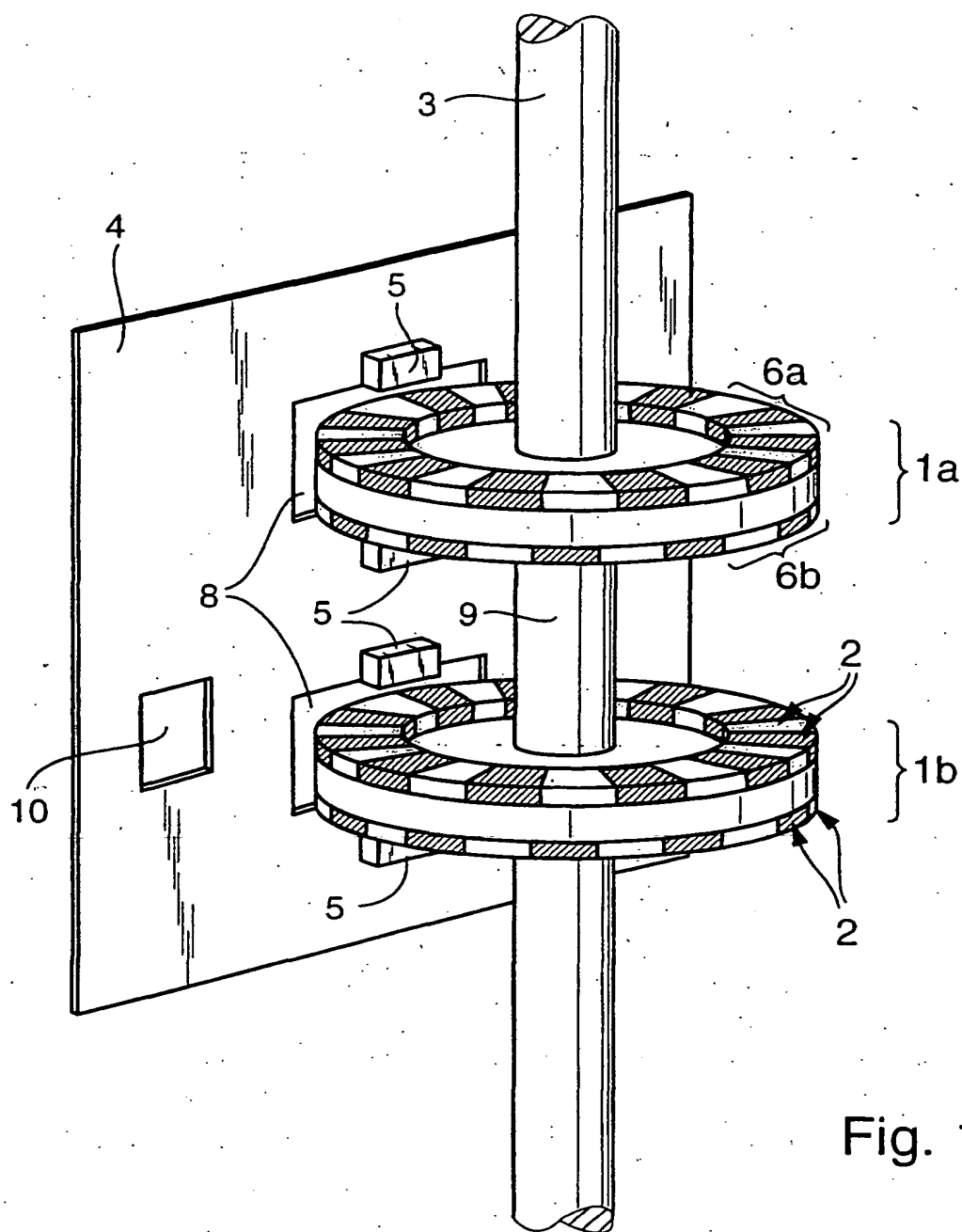


Fig. 1

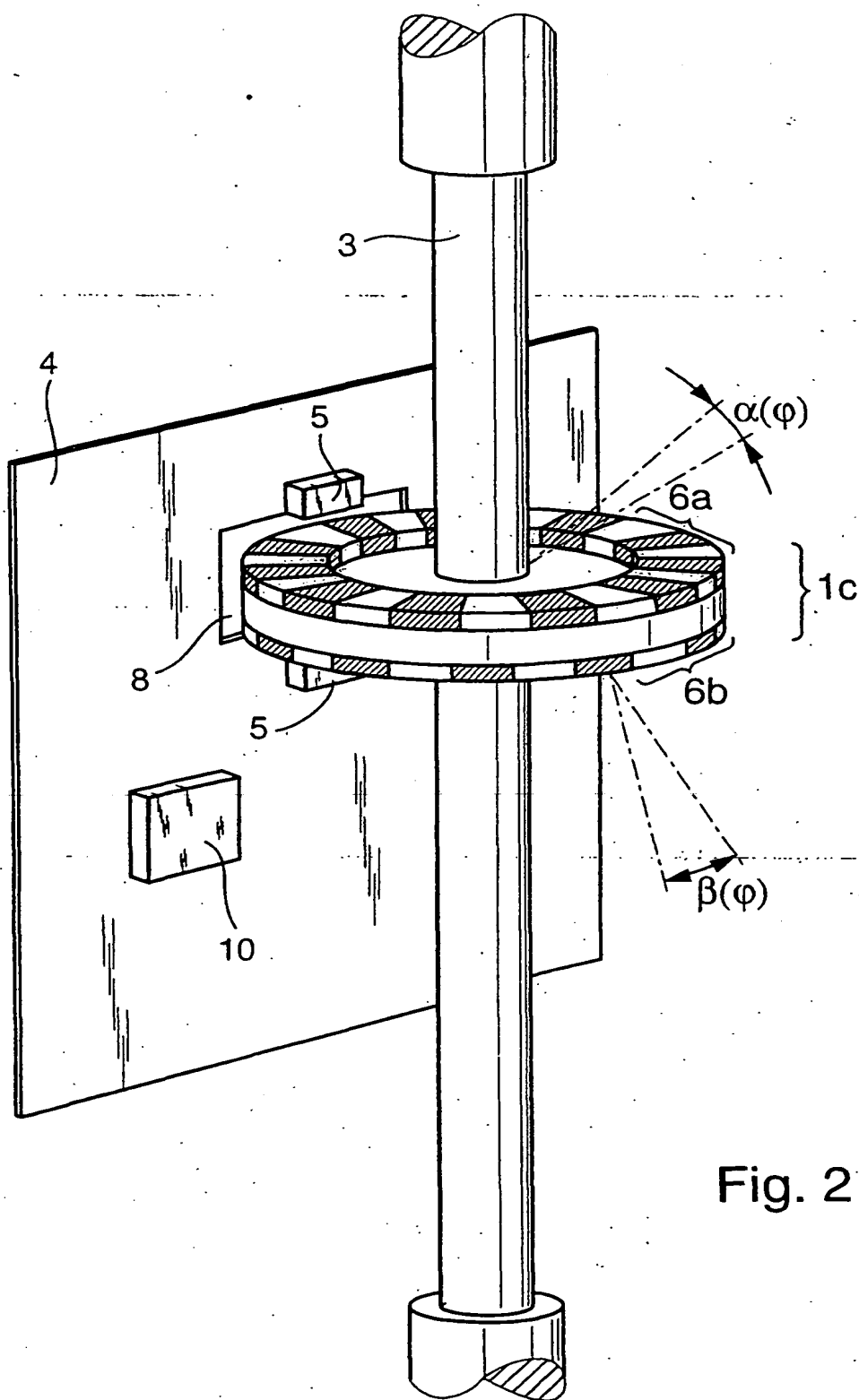


Fig. 2

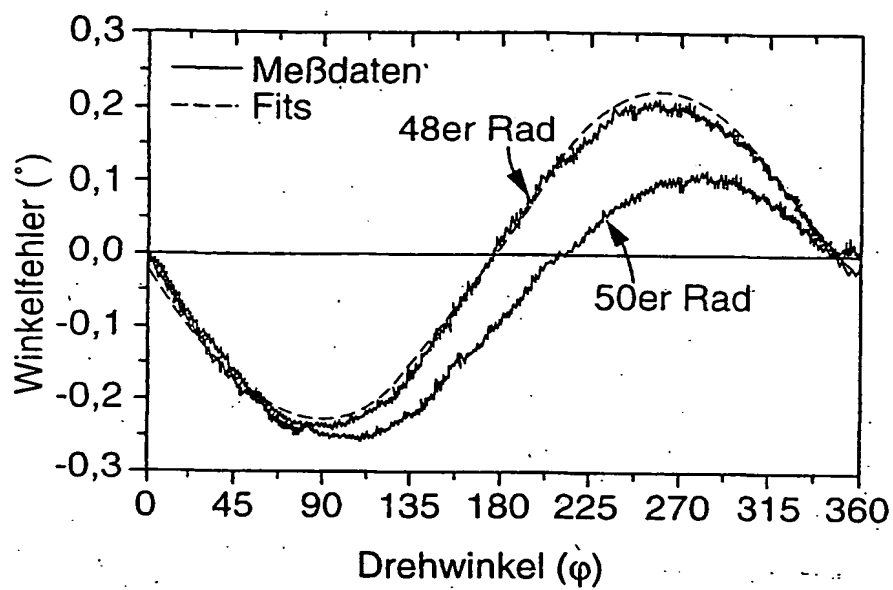


Fig. 3

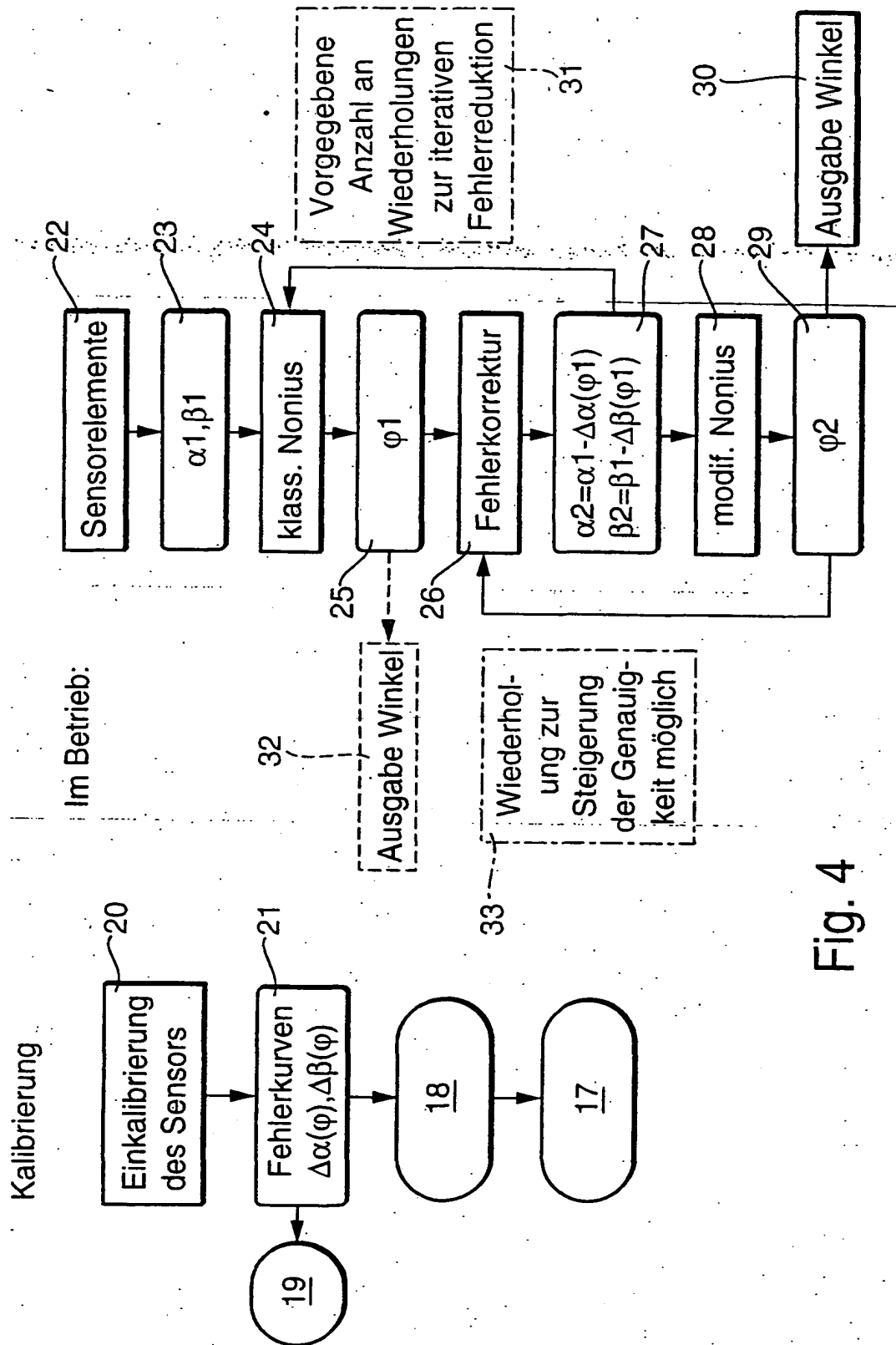


Fig. 4

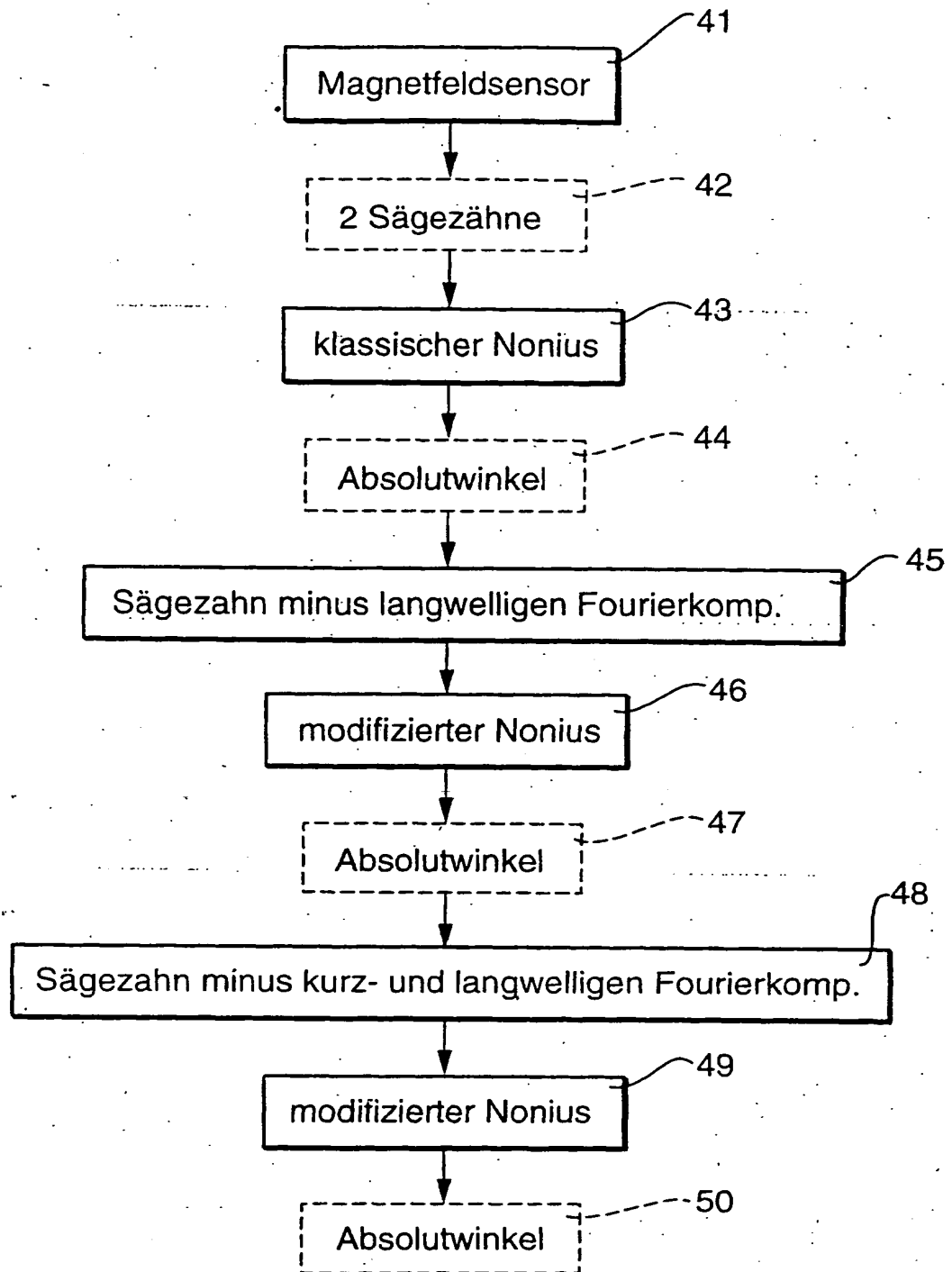


Fig. 5

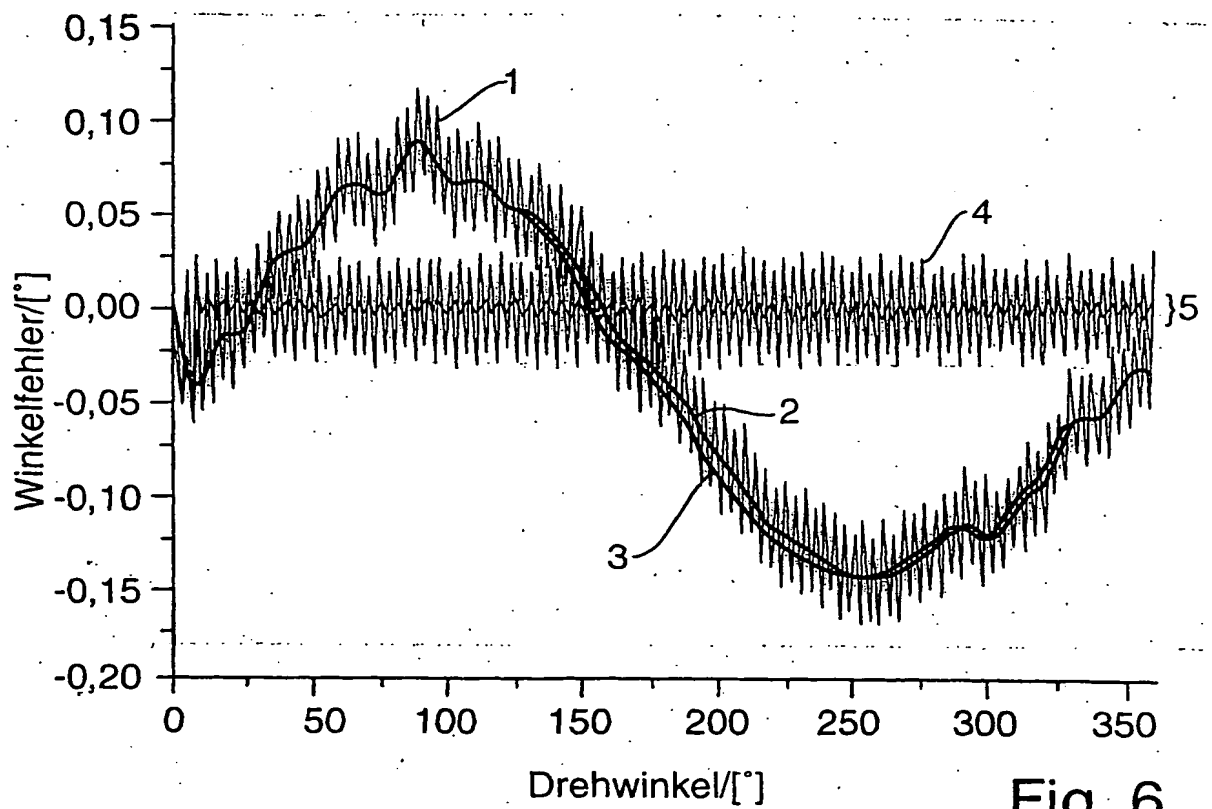


Fig. 6

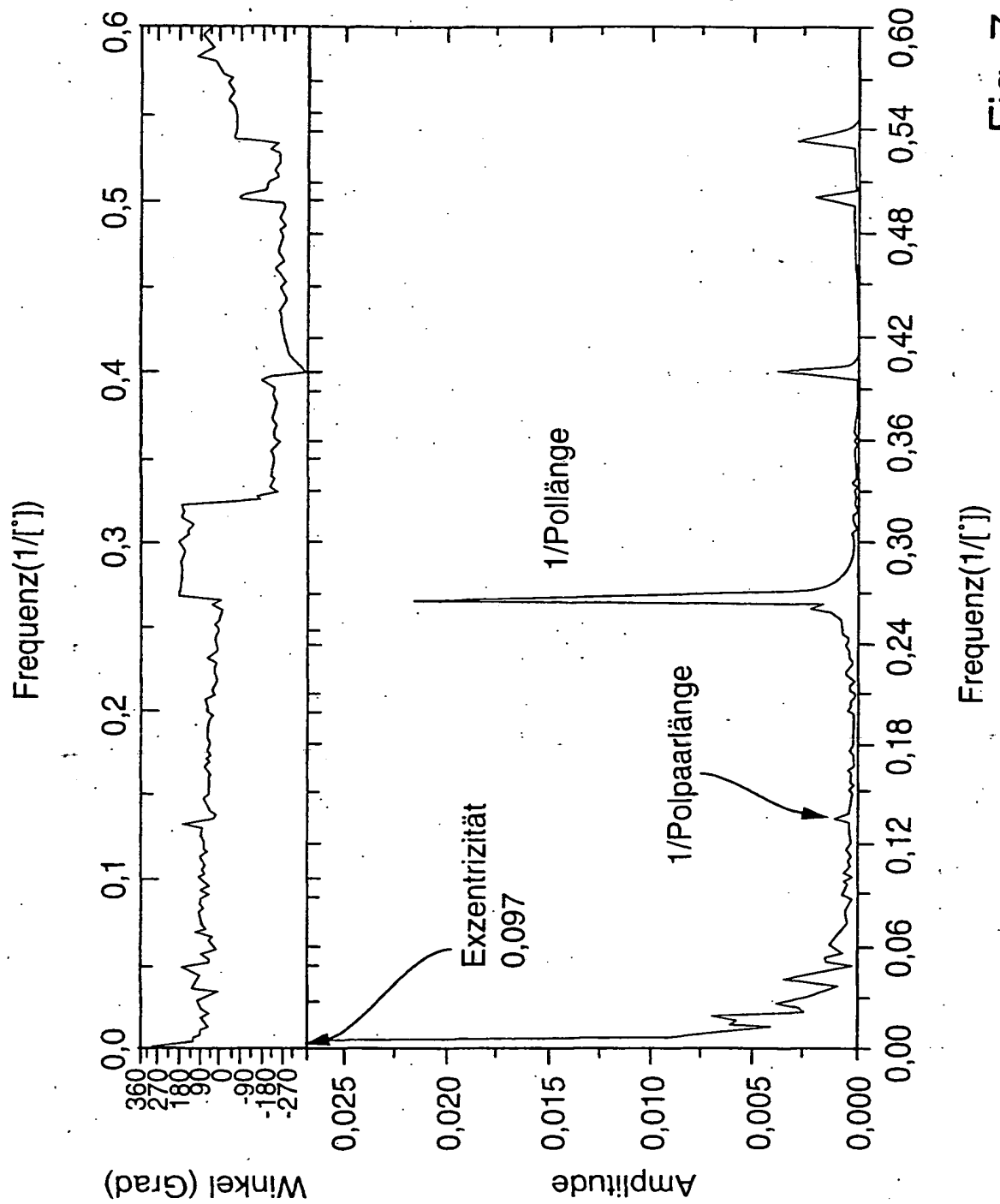


Fig. 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.